

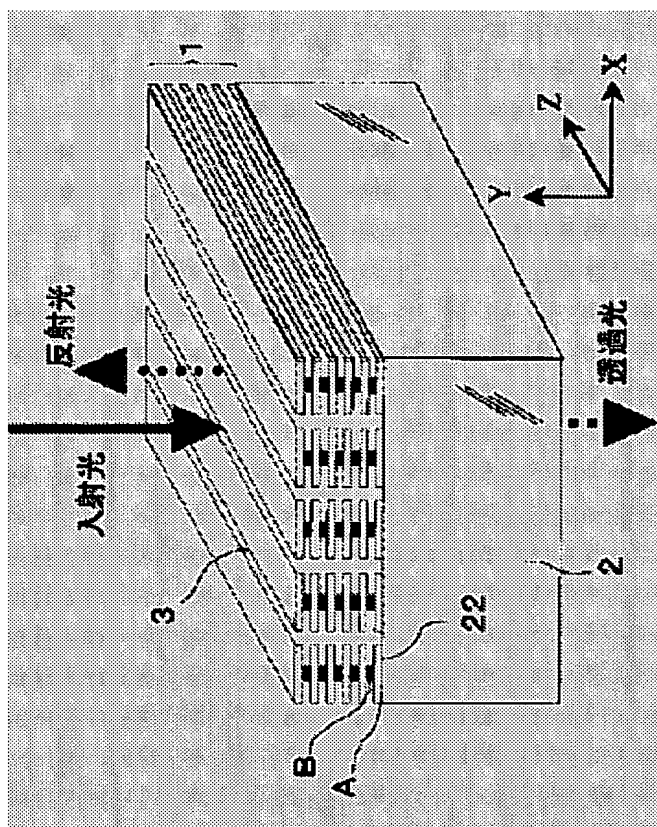
## POLARIZATION SEPARATING ELEMENT

**Patent number:** JP2002082221  
**Publication date:** 2002-03-22  
**Inventor:** NISHII JUNJI; KIKKO SHIGEO; NARA MASATOSHI; ASAI TAKAHIRO; KOYAMA TADASHI  
**Applicant:** NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL & TECHNOLOGY;; NIPPON SHEET GLASS CO LTD  
**Classification:**  
- international: G02B5/30; G02B5/18  
- european:  
**Application number:** JP20000269671 20000906  
**Priority number(s):**

### Abstract of JP2002082221

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve the problem that a polarization separating element using a birefringent crystal is difficult to be miniaturized or to be integrated, a polarizing beam splitter using a multilayered film gets thickened because it has an oblique surface and an optical device using the same gets large-sized.

**SOLUTION:** A periodic multilayered film layer 1 consisting of two layers respectively composed of a substance A and a substance B per period is formed on the one side surface 22 of a substrate 2. A plurality of parallel groovy gap parts 3 with constant intervals are provided on the multilayered film layer 1. Polarization separation with respect to perpendicularly incident light is made possible by formation of the parallel grooves. Furthermore, the interval of the layer composed of the substance B is made wider than that of the layer composed of the substance A. The multilayered film layer structure of this kind exhibits a function as a two-dimensional photonic crystal. Using the structure with a suitable design produces a polarization separating element functioning corresponding to the perpendicularly incident light.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Patent Abstracts of Japan

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-82221  
(P2002-82221A)

(43)公開日 平成14年3月22日(2002.3.22)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 5/30  
5/18

識別記号

F I

G 0 2 B 5/30  
5/18

テームコード(参考)

2 H 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願2000-269671(P2000-269671)

(22)出願日 平成12年9月6日(2000.9.6)

(71)出願人 301021533

独立行政法人産業技術総合研究所  
東京都千代田区霞が関1-3-1

(74)上記1名の復代理人 100069084

弁理士 大野 精市

(71)出願人 000004008

日本板硝子株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

(74)上記1名の代理人 100069084

弁理士 大野 精市

(72)発明者 西井 準治

大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 工業技  
術院大阪工業技術研究所内

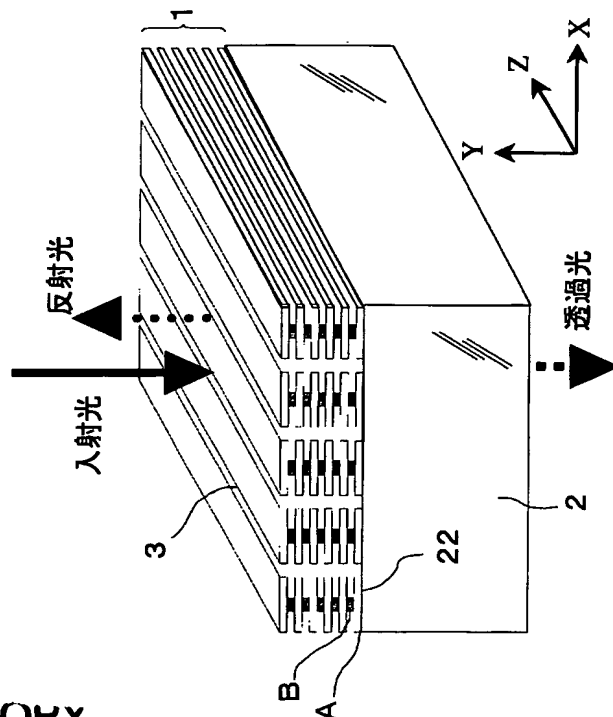
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 偏光分離素子

(57)【要約】

【課題】複屈折結晶を用いた偏光分離素子は小型化、集積化が難しく、また、多層膜を用いる偏光ビームスプリッターも、斜め面を有することから厚みが大きくなり、これを用いた光学装置は大型化するという問題点があった。

【解決手段】基板2の片側表面22に、1周期あたり物質AおよびBの2層からなる周期的多層膜層1を形成する。多層膜層1には、一定間隔の平行な溝状の空隙部分3を複数設ける。この平行な溝の形成により垂直入射光に対する偏光分離が可能になる。さらに本発明では、物質Bにより形成される層の間の間隔を物質Aの層の間隔より広くした。のような多層膜層構造は2次元のフォトニック結晶としての機能を示す。このような構造を用い、適切な設計を行うことにより、垂直な光入射に対して機能する偏光分離素子を作製することが可能となる。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】使用波長に対して透明な基板上に形成した周期的に同じ構造を繰り返す光学的多層膜層により構成される光学素子において、前記多層膜層を構成する各層は一定の間隔と幅を有する空隙により分離されていることを特徴とする光学素子。

【請求項 2】前記多層膜層を構成する各層の空隙の幅が多層膜層の周期と一致する周期を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 3】前記空隙の部分に屈折率一定の物質を充填したことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学素子。

【請求項 4】請求項 1 に記載の光学素子において、前記空隙の間隔が多層膜層厚さ方向の 1 周期の 3 倍以下であることを特徴とする偏光分離素子。

【請求項 5】前記多層膜層厚さ方向の 1 周期  $b$  が、使用波長  $\lambda$  に対して次式の範囲であることを特徴とする請求項 1 ないし 4 に記載の偏光分離素子。

$$0.3\lambda/n_m \leq b \leq 2\lambda/n_m$$

ただし、 $n_m$  は多層膜 1 周期範囲内での、波長  $\lambda$  における平均屈折率である。

【請求項 6】前記多層膜層の 1 周期が互いに異なる第 1 の材料と第 2 の材料の各 1 層から構成され、第 1 の材料からなる層を分離する空隙の幅が第 2 の材料からなる層を分離する空隙の幅と異なることを特徴とする請求項 1 ないし 5 に記載の偏光分離素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システム、光計測機器等に用いられる光学素子、とくに偏光素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、インターネットの急速な普及により、光ファイバー通信網の容量の増大が強く求められており、その手段として WDM（波長多重）通信の開発が急速に進められている。WDM 通信においては、わずかな波長差の光が個別の情報を伝達することから、波長選択性の良い光分波器、フィルタ、アイソレータ、サーキュレータといった光学機能素子が必要である。上記機能素子においては、量産性、小型化、集積化、安定性などが強く求められていることは言うまでもない。

【0003】現在、アイソレータ、サーキュレータといった機能素子では、偏光分離素子として水晶などの複屈折結晶材料が用いられている。また、 $45^\circ$  の斜め面に多層膜を施した偏光ビームスプリッターも広く用いられている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、複屈折結晶は光ファイバやレンズなど他の光学要素とは異質の材料であり、これを用いて光学部品を構成する場合、小型化、

集積化には不適な材料である。また、多層膜を用いる偏光ビームスプリッターも、斜め面を有することから厚みが大きくなり、これを用いた光学装置は大型化するという問題点があった。

【0005】本発明は上記のような問題点を解決するためになされたもので、小型の光学素子、とくに偏光分離素子を提供することを目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の光学素子は、使用波長に対して透明な基板上に形成した周期的に同じ構造を繰り返す光学的多層膜層により構成されており、前記多層膜層を構成する各層は一定の間隔と幅を有する空隙により分離されている。さらに、この多層膜層を構成する各層の空隙の幅が多層膜層の周期と一致する周期を有することを特徴としている。前記空隙の部分には屈折率一定の物質を充填するのが望ましい。

【0007】とくに偏光分離素子としては前記空隙の間隔が多層膜層厚さ方向の 1 周期の 3 倍以下であることが望ましく、さらに前記多層膜層厚さ方向の 1 周期  $b$  が、使用波長  $\lambda$  に対して次式の範囲であることが望ましい。

$$0.3\lambda/n_m \leq b \leq 2\lambda/n_m$$

ただし、 $n_m$  は多層膜 1 周期範囲内での、波長  $\lambda$  における平均屈折率である。

【0008】より具体的な構成としては、前記多層膜層の 1 周期が互いに異なる第一の材料と第二の材料の各 1 層からなり、第一の材料からなる層を分離する空隙の幅が第二の材料からなる層を分離する空隙の幅と異なるようにする。

【0009】上記のような多層膜層構造は 2 次元のフォトリソニック結晶としての機能を示す。このような構造を用い、さらに適切な設計を行うことにより、垂直な光入射に対して機能する偏光分離素子を作製することが可能となる。

## 【0010】

【発明の実施の形態】図 1 は本発明の 1 実施形態における偏光分離素子を模式的に示した図である。入射光は透明な平行平面基板 2 に垂直に入射する。斜め入射を用いる場合に比べて光学系が小型に構成できる特徴がある。基板 2 の片側表面 22 に、1 周期あたり 2 層からなる周期的多層膜層 1 が形成されている。多層膜層 1 は、例えば厚さ  $d_A$  の物質 A（屈折率、 $n_A$ ）と厚さ  $d_B$  の物質 B（屈折率、 $n_B$ ）を交互に積み重ねた周期（ $d_A + d_B$ ）の構造とする。

【0011】多層膜層 1 には、一定間隔の平行な溝状の空隙部分 3 を複数設ける。この平行な溝の形成により垂直入射光に対する偏光分離が可能になる。この偏光分離の効果は多層膜層 1 の 1 周期内で屈折率差が大きいほど顕著に生じる。そこで、本発明では、多層膜層 1 のうち、物質 B の層の幅を狭くした。換言すれば、物質 B により形成される層の間の間隔を物質 A の層の間隔より広

くした。ただし両層に対する溝の間隔周期は等しくし、物質Aの層と物質Bの層との空間的位置関係はこの光学素子内で一様に保たれるようにする。

【0012】図1に示すように、多層膜面と垂直な方向をY方向、多層膜面内で溝の長手方向に直交する方向をX方向、溝の長手方向をZ方向として、XY平面内での断面をみると、多層膜層は凹凸状の形状になっている。

【0013】以下に上記の構造についての理論的な解析について説明する。XY平面内でのX、Y方向のそれぞれ1周期の範囲の断面を表したものが図2である。図1に示すような多層膜構造は、X方向とY方向に周期的構造を有するので、2次元のフォトニック結晶の1種である。したがって、図2に示す1周期領域について、フォトニックバンド構造を計算することができる。計算の方法は、“Photonic Crystals”, Princeton University Press (1995) あるいは、Physical Review B 44巻、16号、p.8565、1991年、などに詳しく述べられている。

【0014】たとえば、図2に示す構造において、溝間隔の周期をa、多層膜層の厚さ方向の周期をbとし、溝間隔周期aのうち、物質A及びBの膜が占める幅の割合をそれぞれ $t_1$ 、 $t_2$ 、厚さ方向周期bのうち、物質Bの厚さが占める割合を $t_3$ とする。また物質A、物質Bの屈折率をそれぞれ $n_A$ 、 $n_B$ 、また溝を含む多層膜層間の空隙部分の屈折率を $n_c$ とする。いま、

$$b/a = 1$$

$$t_1 = 0.75$$

$$t_2 = 0.25$$

$$t_3 = 0.50$$

$$n_A = 3.50$$

$$n_B = 3.50$$

$$n_c = 1.00$$

とした場合の多層膜面と垂直に入射する光線のTE偏光（電界が溝と平行）、TH偏光（電界が溝に垂直）に対するバンド構造を図3に示す（実線はTE偏光、破線はTH偏光にそれぞれ対応する）。図3の横軸は逆格子空間でのY軸方向波動ベクトル $k$ を、縦軸は $b/\lambda$ を意味し、曲線の不連続はフォトニックバンドギャップ(PBG)を示している。TE光とTH光ではPBGとなる波長域がずれていることから、図3に示す波長域では多層膜面に垂直入射する光に対して、TH光とTE光を透過と反射により分離する機能を有する。したがって、偏光分離素子として利用することができる。

【0015】ここで、使用波長 $\lambda$ における多層膜層1周期の領域が、 $m$ 種類の物質から構成される場合、平均屈折率 $n_m$ とすると、偏光分離特性を発揮するためには、多層膜層の1周期の厚さ $b$ が、使用波長 $\lambda$ に対して次式の範囲であることが望ましい。

$$0.3\lambda/n_m \leq b \leq 2\lambda/n_m$$

ただし、平均屈折率 $n_m$ は、

$$n_m = (T_1 \cdot n_1 + T_2 \cdot n_2 + \dots + T_m \cdot n_m)$$

と定義する。ただし、 $T_1$ 、 $T_2$ ・・・は、各物質の1周期領域内で占める面積割合であり、 $n_1$ 、 $n_2$ 、・・・ $n_m$ は各物質の屈折率である。上記の例では $m=2$ であり、 $n_1=n_A$ 、 $n_2=n_B$ である。

【0016】 $b$ の値が $0.3\lambda/n_m$ 以下であると、最初の（最も長波長側の）バンドギャップ以下となるので偏光分離機能を発揮できない。また、 $b$ の値が $2\lambda/n_m$ 以上になると、バンド構造が複雑になり、バンドギャップの幅を広く取ることができなくなる。

10 【0017】図1のような構造は、本発明者の実施した以下の方法で作製することができる。基板上への膜付けはプラズマCVD法を用い、TEOS（テトラエトキシシラン、 $Si(OC_2H_5)_4$ ）と4フッ化炭素（ $CF_4$ ）を原料として $SiO_2$ 膜を生成する。ここで、 $CF_4$ の流量を変えることにより、 $SiO_2$ に添加されるFの量を調節することができる。従って、 $CF_4$ 流量の調整によりFを多く含む層と全く含まない層を交互に周期的に重ねることができる。

20 【0018】Fを多く含む $SiO_2$ ほど、酸によるエッチング速度が速くなることは良く知られている。そこで、上記の多層膜層にフォトリソグラフィによる溝パターンのマスクを形成してから、溝の形成と共にFを多く含む層の選択的エッチングを行ない、図1の構造を実現することができる。

30 【0019】本発明者は、TEOS流量を $7ml/min$ （標準状態）に固定して、 $CF_4$ 流量を0もしくは $50ml/min$ （標準状態）とすることにより4層の膜構造とした。基板と接する層はF添加層であり、各層の厚さは約 $0.5\mu m$ である。多層膜表面にレジストを塗布し、フォトリソグラフィ技術で $1\mu m$ ピッチの平行線状の溝パターンをつくり、反応性イオンエッチングとHF溶液での湿式エッチングを連続して行なった結果、図1に示す構造が得られた。

40 【0020】本発明に用いる多層膜の主要な材料としては、使用波長域における透明性が確保できるものであれば特に限定はないが、一般的に多層膜の材料として用いられていて耐久性や製膜コストの点で優れたシリカ、酸化チタン、酸化タンタル、酸化ニオブ、フッ化マグネシウムなどが適する材料である。もちろんシリコン、ガリウム砒素などの半導体材料を用いることもできる。

【0021】1周期内における多層膜の構造は、2層とするのが最も単純であるが、

(1) 2層の膜厚比を変える

(2) 3層以上とする

(3) 膜材質を3種以上とする

といった手段により平均屈折率やバンド構造の調整を行ない、偏光分離特性の改善に役立てることも可能である。多層膜層は少なくとも5周期以上形成するのが望ましい。

50 【0022】基板の材質としても、使用波長域における

透明性が確保できるものであれば特に限定はなく、ソーダライムガラス、光学ガラス、シリカ、シリコン、あるいはガリウム砒素などの化合物半導体などが適する材料である。温度特性などの限定が小さければ、プラスチック材料でも良い。

【0023】多層膜を形成する方法としては、真空蒸着、スパッタ、イオンアシスト蒸着、CVD法などを利用することができる。また、多層膜層の空気面には保護層を付けても良い。

【0024】また、本発明の実施例では、ガラス基板等に構成させる例を示したが、レンズなど光学部品上に直接形成することも可能であり、小型化、集積化に適した素子を提供することができる。

【0025】また、図9に示すように、溝と凹部を一定\*

	a / b	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	n <sub>A</sub>	n <sub>B</sub>	n <sub>C</sub>	n <sub>M</sub>
設計例 1	1.0	0.75	0.25	0.50	3.5	3.5	1.0	2.25
設計例 2	1.0	0.75	0.25	0.50	1.5	1.5	1.0	1.25
設計例 3	1.0	0.80	0.20	0.60	1.45	1.45	3.5	2.55
設計例 4	2.0	0.75	0.25	0.50	3.5	3.5	1.0	2.25
設計例 5	3.0	0.75	0.25	0.50	3.5	3.5	1.0	2.25
設計例 6	0.5	0.75	0.25	0.50	3.5	3.5	1.0	2.25

【0028】設計例1は、多層膜部分の屈折率を3.5 (Siなどに相当)、空隙部分の屈折率を1.0 (空気)としたものである。横軸は逆格子空間でのY軸方向波動ベクトルk、縦軸はb/λとした場合のグラフを図3に示す。実線はTE光、破線はTH光である。図3に示すように、TE光を反射してTH光を透過する (あるいはその逆の) 波長域がいくつか存在するので、偏光分離素子として利用することができる。

【0029】設計例2 (図4) は多層膜層の屈折率が小さい (低屈折率ガラスに相当) 場合である。空気との屈折率差が小さいのでバンドギャップが狭くなるが、偏光分離素子として利用できる波長帯は存在する。

【0030】設計例3 (図5) は、空隙部に高屈折率 (n<sub>C</sub>=3.5) の物質を充填した例である。

【0031】設計例4、5 (図6、7) は、設計例1の溝周期aのみを大きくした例である。aを大きくするとバンドギャップが狭くなることから、 $a \leq 3b$

が望ましい範囲である。

【0032】設計例6 (図8) は、逆に設計例1の溝周期aのみを小さくした例である。この場合はバンドギャ

\*の屈折率を有する物質で満たしても同様の機能が發揮できる。たとえば多層膜構造の材料がSiO<sub>2</sub>、MgF<sub>2</sub>などを主体とする低屈折物質である場合、溝と凹部を空気層とするよりも高屈折率物質で満たす方が、屈折率差を大きくすることができる場合などに有用である。使用波長λの範囲にはとくに制限がなく、応用上重要な200nm~20μmの範囲に適用ができる。

【0026】〔設計例〕以下、本発明を設計例に基づいて説明する。図2に示す1周期領域について、表1に示す条件を設定した設計例1、2、3についてフォトニックバンド計算を行なった。

【0027】

【表1】

ップが狭くならないので、問題はない。

【0033】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、2次元フォトニック結晶構造を比較的簡単な工程により製作することができる。これは偏光分離素子としての機能を發揮することができるので、これらの光学素子の小型化、低価格化を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の偏光分離素子の基本構造を示す模式図である。

【図2】多層膜層の中での1周期分の領域を示す断面図である。

【図3】本発明に含まれる設計例1でのフォトニックバンド構造を示すグラフである。

【図4】本発明に含まれる設計例2でのフォトニックバンド構造を示すグラフである。

【図5】本発明に含まれる設計例3でのフォトニックバンド構造を示すグラフである。

【図6】本発明に含まれる設計例4でのフォトニックバンド構造を示すグラフである。

【図7】本発明に含まれる設計例5でのフォトニックバ

ンド構造を示すグラフである。

【図 8】本発明に含まれる設計例 6 でのフォトニックバンド構造を示すグラフである。

【図 9】本発明の他の実施例を示す模式図である。

【符号の説明】

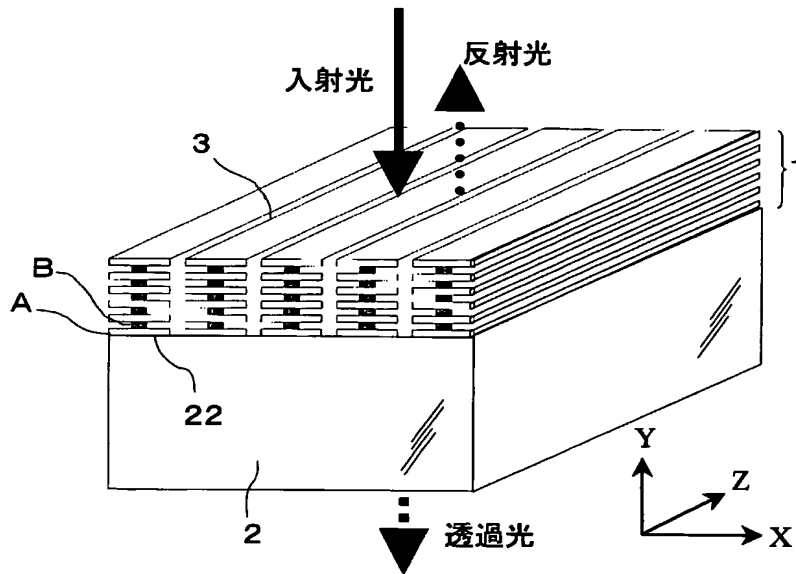
1 多層膜層

2 基板

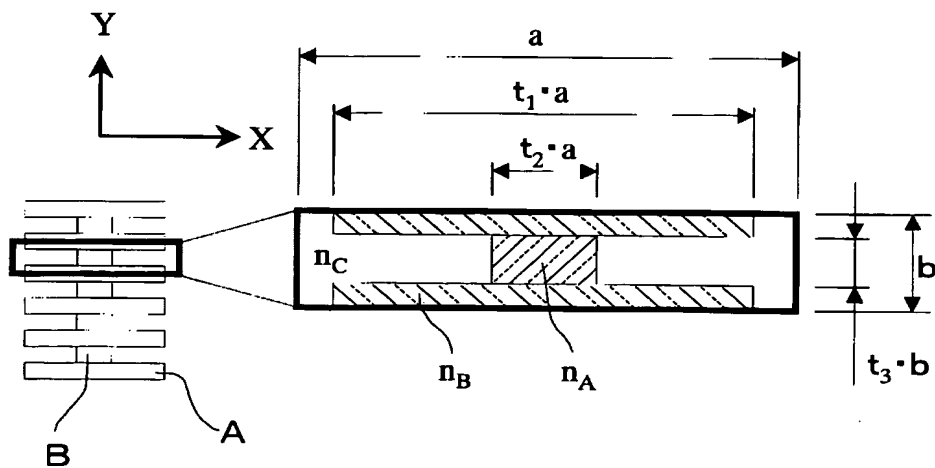
2 2 基板の多層膜側表面

3 空隙部

【図 1】

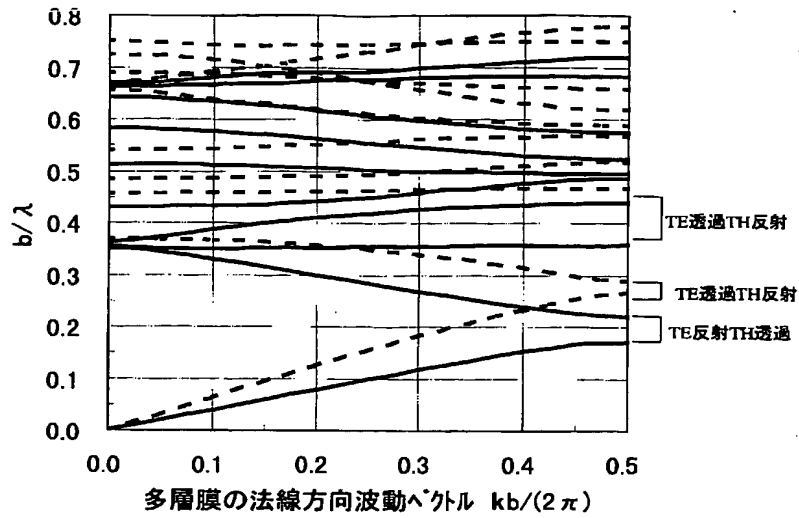


【図 2】



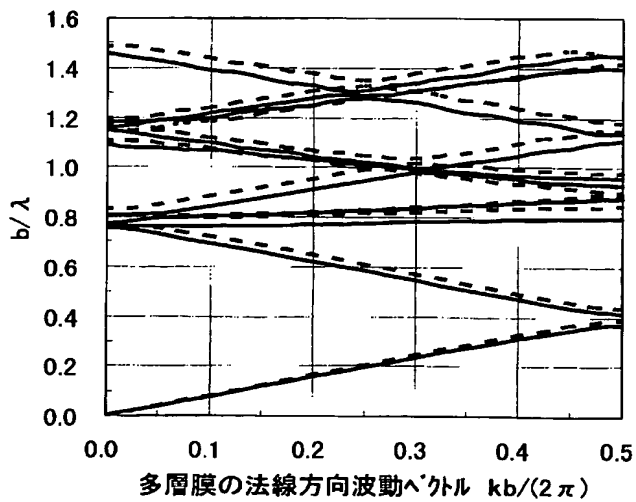
【図3】

設計例1



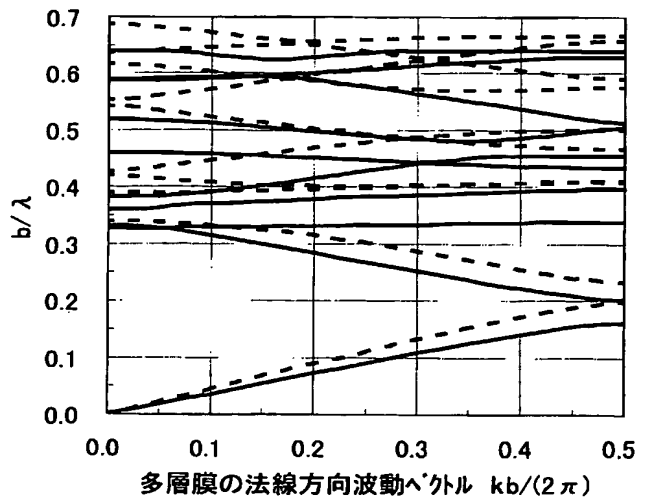
【図4】

設計例2



【図5】

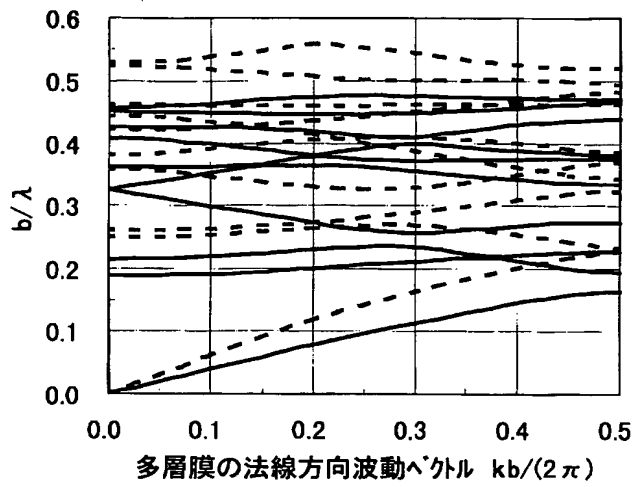
設計例3



BEST AVAILABLE COPY

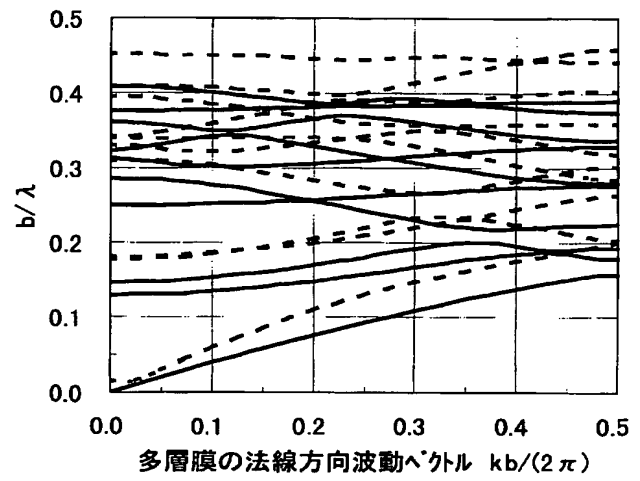
【図6】

設計例4



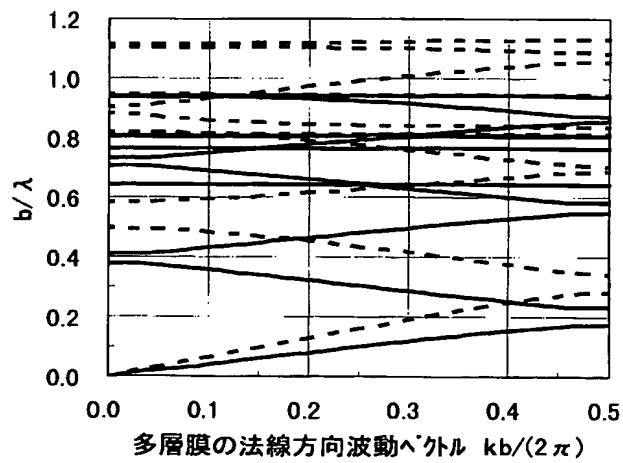
【図7】

設計例5



【図8】

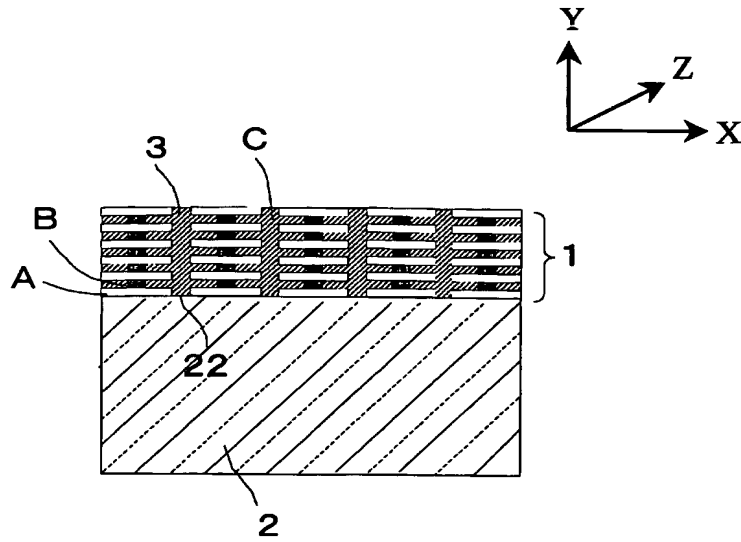
設計例6



BEST AVAILABLE COPY



【図9】



フロントページの続き

(72) 発明者 橘高 重雄  
大阪府大阪市中央区道修町 3 丁目 5 番 11 号  
日本板硝子株式会社内  
(72) 発明者 奈良 正俊  
大阪府大阪市中央区道修町 3 丁目 5 番 11 号  
日本板硝子株式会社内

(72) 発明者 浅井 貴弘  
大阪府大阪市中央区道修町 3 丁目 5 番 11 号  
日本板硝子株式会社内  
(72) 発明者 小山 正  
大阪府大阪市中央区道修町 3 丁目 5 番 11 号  
日本板硝子株式会社内

F ターム (参考) 2H049 AA02 AA12 AA37 AA44 AA45  
AA59 AA65 BA05 BA45 BA47  
BB03 BC09 BC25

BEST AVAILABLE COPY